

Die normierte Sporenmessung – Diskussion von Voraussetzungen und Vorstellung eines Lösungsansatzes

H. KRÜGER

D-3360 Osterode am Harz, Freiheiter Straße 39

Eingegangen am 27.4.1986*

Krüger, H. (1987) – Standardized Microscopic Spore Size Measurement. Discussion of Conditions and Practicability. Z. Mykol. 53(1): 99–118.

Key Words: Computer, Documentation, Indication, Measurement, Microscope, Spore, Standardization, Statistics.

Abstract: Up to now, there do not exist any standardized rules for microscopic measurements aiming at the determination of mushrooms. The paper discusses important factors influencing spore measurement and proposes application of a hand held computer for statistical evaluation of data obtained. A standardization would appear to be possible, if competent circles came forward with binding methods and if program-controlled printing pocket computers were used for recording, statistical evaluation of measuring data and documentation of results.

Zusammenfassung: Für mikroskopische Messungen zur Pilzbestimmung existieren keine normierten Richtlinien. Es werden für die Sporenmessung wichtige Einflußgrößen diskutiert und eine statistische Bearbeitung der Meßwerte mittels Kleinstrechner vorgeschlagen. Eine Normierung scheint realisierbar, wenn von kompetenter Seite methodisch wichtige Modalitäten verbindlich festgelegt würden und zur Protokollierung, statistischen Bearbeitung der Meßwerte und Angabe der Meßergebnisse ein programmgesteuerter, druckender Taschencomputer zum Einsatz käme.

1. Einleitung

Mikroskopische Messungen sind Bestandteil mykologischer Bestimmungsroutine. In der Literatur finden sich diesbezügliche Hinweise, jedoch gibt es bis heute keine normierten Richtlinien. Insbesondere bei der Sporenmessung, deren Resultate von einer Vielzahl von Einflußgrößen abhängig sind, wäre ein normiertes Verfahren zur Messung selbst sowie zur Angabe der Meßwerte zu wünschen. Der Verwirklichung eines solchen Wunsches stehen verschiedenartige Hindernisse im Wege. Die Konsequenzen dieser Situation betreffen zwangsläufig vor allem die Amateurmykologen, bei denen ein angemessenes professionelles know-how über die Problematik mikroskopischer Messungen nicht vorausgesetzt werden kann. In vorliegender Arbeit soll dargestellt werden, wie zumindest im Amateurbereich eine gewisse Standardisierung der Messung und der Darstellung der Meßwerte erreicht werden könnte. Das hier zur Diskussion gestellte Konzept erscheint durch Benutzung eines programmierbaren, druckenden Kleinstrechners realisierbar, da mit gesteuert-

* Referat auf der Mykologischen Fortbildungstagung der AG Mykologie Ostwürttemberg (AMO) vom 25.–27.4.1986 in Schwäbisch Gmünd

tem Programmablauf sowohl ein Mindestmaß an Information über die Meßbedingungen als auch eine gleichartige Verarbeitung und Ausgabe der Meßwerte sichergestellt werden können.

Es ist bekannt, daß in der gängigen Literatur nur spärliche allgemeine Informationen über das Problem der Sporenmessung und die Präsentation der Meßergebnisse zu finden sind, so daß G r o ß (1976) konstatiert, „daß jeder so seine Marotte hat beim Sporenmesen“. Unbestritten ist auch, daß die je nach Vorbild bzw. Bestimmungsliteratur $\pm$ unterschiedlichen Verfahrensweisen allesamt einen erheblichen Rechen- und Schreibaufwand erfordern, der sich bei Verwendung eines programmierbaren Rechners wesentlich verringern ließe. In einer Zeit, wo bereits Kinder unterer Schulklassen damit beginnen, sich spielerisch mit dem Computer bekannt zu machen, mutet es geradezu archaisch an, die am Mikroskop erhaltenen Meßwerte durch Multiplikation mit dem zugehörigen Skalenfaktor einzeln in die absoluten Maße umzurechnen, selbst wenn hierzu meist ein üblicher Taschenrechner benutzt wird. Zum anderen fehlt es in der Literatur nicht an Hinweisen, daß im Interesse der Vergleichbarkeit der Messungen eine gewisse Standardisierung der Meßmethoden und der Ausgabeformate erforderlich sind. Wertvolle Informationen finden sich z. B. in dem bereits zitierten Beitrag von G r o ß (1976) sowie in den Büchern über Pilzmikroskopie von L a r g e n t, J o h n s o n & W a t l i n g (1977) bzw. von E r b & M a t h e i s (1983). H e i n e m a n n & R a m m e l o o (1985) beklagten erst jüngst, daß viele Mykologen der Sporenmessung zu wenig Präzision beimessen und vor allem ihre Resultate in nicht angemessener Weise auszudrücken pflegen. Sie nehmen dabei Bezug auf A r n o l d s (1980), der aufgezeigt habe, daß die von verschiedenen Mykologen – sowohl Amateuren als auch Fachmykologen – für ein- und denselben Fruchtkörper angeführten Sporengrößen ganz erheblich differieren können. Demgegenüber betonten H e i n e m a n n & R a m m e l o o in ihrer Arbeit, daß sehr wohl übereinstimmende Resultate zu erzielen sind, sofern peinlich genau nach einer standardisierten Methode gearbeitet wird. Im übrigen bedarf es keiner Begründung, daß durch Verwendung normierter Meßverfahren – wie es z. B. im serologischen Labor üblich ist – Ergebnisse mit höherem Aussagewert erhalten werden.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei betont, daß sich diese Arbeit als Beitrag eines Amateurs primär für Amateure versteht. Insofern sollen im nachfolgenden Text gelegentlich zitierte Einblicke in die dem Amateur weitgehend verschlossene Arbeitswelt des Wissenschaftlers lediglich dazu dienen, die Komplexität der Materie anzudeuten und bei der Diskussion von auf den Amateur zugeschnittenen Standardbedingungen einen möglichst sinnvollen Kompromiß anstreben zu können.

2. Die Sporengröße – ein konstantes Bestimmungsmerkmal?

Ganz zweifellos gilt die Sporengröße als eines der wichtigsten mikroskopischen Bestimmungsmerkmale. Daß die Sporenabmessungen einer Art normalerweise in einem gewissen Rahmen schwanken, ist seit langem bekannt und widerspiegelt sich in dementsprechenden Angaben der Literatur. Hinzu kommt, wie z. B. von M o s e r (1983) ausdrücklich erwähnt, daß auch mikroskopische Größenangaben in der Regel Durchschnitts- oder Normalwerte darstellen, die unter besonderen Bedingungen unter- bzw. überschritten werden können. Wie C l e m e n c o n (1979) aufführt, glaubte R i c k e n an eine hohe Konstanz der Sporengröße und legte entsprechend großen Wert darauf. Indes gibt es seit langer Zeit eine ganze Reihe wissenschaftlicher Veröffentlichungen, die sich mit der Variabilität der Sporenabmessungen innerhalb einer Art befassen. So berichtete B u l l e r bereits 1909 von unterschiedlichen mittleren Sporengrößen für verschiedene Fruchtkörper von *Psalliota campestris* bzw. *Amanitopsis vaginata*, wobei allerdings ungeklärt bleibt, ob es sich bei den verschiedenen Fruchtkörpern nach heutiger Artauffassung um die glei-

che Art gehandelt hat. T o g a s h i & O d a schrieben 1934 über Änderungen der Sporengrößen im Verlauf der Sporulationsperiode bei *Armillaria mellea*, *Pholiota adiposa*, *Hypholoma sublateritium* und *Collybia velutipes*. Diesbezügliche Untersuchungen an *Auricularia auricula* und *Panaeolus semiovatus* lassen D u n c e n & G a l b r a i t h (1973) zu dem Schluß gelangen, daß die Sporengrößen der studierten Arten im Verlauf der Sporulation zunächst signifikant ansteigen, um nach Erreichen eines Maximums schließlich wieder abzunehmen. G r o ß & S c h m i t t (1974) führen an, daß die Sporengröße bei höheren Pilzen nicht immer ein konstantes Merkmal zu sein scheint. Aus einer 1975 von R. W a t l i n g publizierten Arbeit geht hervor, daß Sporenanzahl und -größe bei bestimmten dünnfleischigen Arten der *Bolbitiaceae* mit zunehmender Verarmung und Austrocknung des Substrates abnehmen. Bei anderen dünnfleischigen Arten wurde eine Abhängigkeit der Sporengrößenverteilung von der Fruchtkörpergröße beobachtet. C l é m e n ç o n (1979) resümiert, daß sich die Sporenabmessungen während der Fruchtkörperentwicklung ändern können und es in der Regel auch tun, wobei sie zunächst größer, dann wieder kleiner werden. Die Sporengröße stelle eine komplexe Funktion von Alter und Größe des Fruchtkörpers sowie vom Umwelteinflüssen (wie Aus- oder Antrocknung durch Wind, Verpflanzung mitsamt Substrat) dar.

Im Verlauf jahrelanger wissenschaftlicher statistischer Studien gelangte G r o ß (1972) zu dem Schluß, daß Länge und Breite von sekundärer Bedeutung seien; maßgebend sei in erster Linie das **Volumen** der Spore. Allein schon die übliche Angabe der Sporenmaße sei unzweckmäßig, da aus den Schwankungsbereichen von Länge und Breite die Korrelation beider Größen nicht hervorgeht. G r o ß & S c h m i t t (1974) betonen, daß die Spore nicht als „Fläche“, sondern als Körper zu betrachten sei und die Sporenabmessungen lediglich als abgeleitete Größen eines bestimmten Sporenvolumens anzusehen sind. Und weiter wörtlich:

„Über der scheinbaren Kompliziertheit der Volumenermittlung sollte man jedoch immer im Auge haben, daß man durch das Volumen als rechnerische Größe in Wirklichkeit nichts anderes als das einfachste und natürlichste Sporenmerkmal, nämlich das **Gewicht** – oder anders ausgedrückt: den Inhalt oder die Masse – der Spore bestimmt. Nur die Unmöglichkeit des Wiegens der Einzelspore zwingt uns zu der umständlichen Prozedur der Volumenermittlung“.

E i n h e l l i n g e r führt in seiner kürzlich erschienenen *Russula*-Arbeit (1985) für viele der abgehandelten Arten aus zahlreichen Einzelmessungen statistisch ermittelte Daten für die Abmessungen, das Längen/Breiten-Verhältnis sowie das Volumen der Sporen an. Er bezeichnet die statistische Meßweise für mehrere Fälle als hervorragende Bestimmungshilfe, die eine Abgrenzung benachbarter Arten erleichterte oder erst ermöglichte. Vor allem das Sporenvolumen-Durchschnittsmaß gestatte eine rasche Orientierung über die Sporen und erleichtere Vergleiche. Angesichts des Umstandes, daß eine statistische Aufbereitung von zig Meßwerten ohne Rechner-Benutzung einen völlig unzumutbaren Rechenaufwand von vielen Stunden bedeuten würde, wird im folgenden zu prüfen sein, inwieweit mittels Taschenrechner wenigstens ein statistisches Minimalprogramm realisiert werden kann.

3. Hinweise zur Sporenmessung

Zunächst sollen einige Anmerkungen zur Sporenmessung selbst folgen, weil eine Standardisierung von Sporenmessung und Ausgabeformat logischerweise die eigentliche Meßprozedur incl. Herstellung des Präparates einbeziehen müßte. Da man annehmen kann, daß diesbezügliche Details nicht allen Mikroskopbenutzern geläufig sein dürften, werden an dieser Stelle einige besonders wichtig und nützlich erscheinende Punkte wiedergegeben. Auf die sich mit Pilzmikroskopie befassenden Bücher von L a r g e n t , J o h n s o n

& Watling sowie Erb & Matheis wurde bereits zu Anfang verwiesen. Heinemann & Ramello (1985) führen in ihrer Arbeit als Voraussetzung für ein gut reproduzierbares Meßverfahren eine ganze Liste methodischer Hinweise auf, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind. Für die Herstellung des Präparates sollen möglichst reife Sporen verwendet werden, die bei Blätterpilzen einem Sporenabdruck, ggf. auch der Stielhaut oder dem Ring, entnommen werden können. Sporenablagerungen auf der Hutoberfläche müssen nicht unbedingt dem gleichen Fruchtkörper entstammen; Messungen an solchen Proben könnten unter Umständen zu abweichenden Resultaten führen. Groß sagt dazu schon 1972 aus, daß – wenigstens bei Hymenogasterarten – nur Sporen des gleichen Präparates, keinesfalls jedoch Sporen verschiedener Fruchtkörper gemessen werden dürfen. Für Fälle, wo zur Präparatherstellung Freihandschnitte unvermeidlich sind, findet sich bei Groß (1976) an anderer Stelle ein ebenso einfacher wie wirksamer Trick zur Anfertigung eines speziell für Sporenmessungen bestimmten Präparates: Zunächst soll man den Schnitt auf dem Objektträger mit dem abgerundeten Ende eines Glasstäbchens zermörsern, dann neben den zerstampften Schnitt ein Deckgläschen legen, einen Wassertropfen auf die Pilzmasse bringen und dieses Wasser mit Hilfe der Kapillarwirkung unter das Deckglas ziehen lassen. Bei Anfertigung eines Quetschpräparates ist zu bedenken, daß infolge zu starken Druckes auf das Deckgläschen Sporen beschädigt oder deformiert sein könnten. (Heinemann & Ramello). Als Medium wird schlichtes Leitungswasser empfohlen; vor einem Herumhantieren mit Reagenzien ist nach Groß (1976) zu warnen. Nach Heinemann & Ramello (1985) kommen neben Wasser auch verdünnte wässrige Lösungen von Ammoniak bzw. Chloralhydrat sowie Melzer's Reagens in Frage, während volumenvergrößernde Medien wie Kalilauge oder Schwefelsäure zu meiden sind (es wird auf Demoulin 1968 verwiesen, der festgestellt habe, daß Sporen von *Scloderma citrinum* in KOH um 5 % größere Werte aufwiesen als in Lactophenol). Clémenceon (1972) empfiehlt seine von ihm als L4 bezeichnete, schwach alkalische Präparierlösung als bewährtes Reagens für allgemeine Zwecke. Die gepufferte (d. h. auch bei Eindringen von säurebildendem CO₂ ihren pH-Wert = Säuregrad beibehaltende) Lösung ist gut benetzend, trocknet infolge des Glyzerinanteils nicht ein, bremst Strömungsbewegungen auf Grund erhöhter Viskosität und bewahrt die zu untersuchenden Strukturen. Im stark sauren Lactophenol (vergl. oben!) hingegen würden die Hyphen und oft auch die Sporen frischer Pilze kollabieren. An anderer Stelle benutzte genannter Autor bei zu erwartenden Schwierigkeiten durch Strömungsbewegungen mit Agar überzogene Objektträger (Clémenceon 1979). Heinemann & Ramello (1985) empfehlen dafür einen geringen Gelatinezusatz zum Präparat (gem. Moser, zitiert in Groß 1976). Sie betonen in diesem Zusammenhang, daß das Präparat zwar so dünn wie möglich sein soll, andererseits jedoch vermieden werden muß, bei fortschreitender Austrocknung des Präparates den Abstand zwischen Objektträger und Deckglas kleiner werden zu lassen als den Sporendurchmesser selbst, weil dann die Sporen zusammengepreßt und deformiert werden.

Weitere wichtige Hinweise betreffen den richtigen Umgang mit dem Mikroskop. Voraussetzung für gute Abbildungen und damit auch für brauchbare Meßergebnisse ist eine sehr sorgfältige Einstellung der Köhler'schen Beleuchtungseinrichtung. Insbesondere ist die nicht selten zu beobachtende Regulierung der Helligkeit mittels Aperturblende am Kondensor unzulässig, weil dies zu Auflösungsverlusten führt. Die Messungen sollten möglichst in Bildmitte ausgeführt werden, da die am Bildfeldrand sichtbaren Sporenabbildungen Verzerrungen aufweisen können (Heinemann & Ramello). Zur Erzielung einer möglichst hohen Meßgenauigkeit verwendet man ca. 1000fache Vergrößerung (mit Ölimmersion). Das Arbeiten mit stärksten Okularen kann die Messungen erleichtern, führt jedoch bei Überschreitung der sogenannten förderlichen Vergrößerung

(= dem tausendfachen Wert der am Objektiv eingravierten numerischen Apertur) zu „leeren Vergrößerungen“, d. h. dem Bild fehlt dann jedes feine Detail- und das Anlegen der Meßskala kann erschwert sein. Bei dem von Amateuren am häufigsten benutzten Meßverfahren wird ein Okularmikrometer verwendet, das für jedes einzelne Objektiv mittels Objektmikrometer unter Meßbedingungen geeicht werden muß. Die Methode liefert ausreichend genaue Resultate, um die eigenen Messungen mit Literaturangaben vergleichen zu können (Heinemann & Rammeloo). Für präzisere wissenschaftliche Messungen müssen jedoch aufwendigere Verfahren benutzt werden (z. B. mittels Schraubenmikrometerokular oder fotografischer Nachvergrößerung). Auf sie braucht hier nicht eingegangen zu werden. Da nicht selten Zeicheneinrichtungen benutzt werden, seien einige diesbezügliche Bemerkungen von Heinemann & Rammeloo (1985) angefügt: Für Messungen ist es von größter Wichtigkeit, daß der Spiegel exakt auf 45° einjustiert wird und daß die Zeichenebene genau parallel zur Mikroskopierebene angeordnet ist. Andernfalls erhält man nicht nur falsche Meßwerte, sondern auch Änderungen der geometrischen Form. Mit starken Okularen darf wegen erheblicher Randverzerrungen nur im Zentrum des Bildes gemessen werden. Wenig routinierten Beobachtern unterlaufen bei Benutzung dieses Verfahrens sehr oft Fehlmessungen, weil die Gesamtvergrößerungen nicht in angemessener Weise kontrolliert werden (z. B. nach Verstellung der Höhe der Zeichenebene).

Bezüglich der erreichbaren Meßgenauigkeit heißt es bei Watling (1976), daß selbst das beste im mykologischen Labor verfügbare optische System ein Auflösungsvermögen von lediglich $0,24 \mu\text{m}$ ermögliche; Messungen mit einer diesem Wert entsprechenden Genauigkeit seien schwierig. Groß & Schmitt (1974) geben für Messungen mittels Okularmikrometer (nach Eichung mit Objektmikrometer) und bei Benutzung von Ölimmersion eine erzielbare Genauigkeit von $\pm 0,2 \mu\text{m}$ an. Der erforderliche Aufwand für eine doppelt so gute Meßgenauigkeit wird z. B. bei Clémencçon (1979) erkennbar, der bei 4000facher Gesamtvergrößerung gezeichnete Sporen anschließend auf $0,5 \text{ mm}$ genau ausmaß und damit auf $0,1 \mu\text{m}$ gerundete Werte der Dimension kam.

Im Gegensatz zur Problematik der hochpräzisen Messungen ist die Genauigkeit, mit der die Meßwerte angegeben und bei statistischer Aufbereitung weiterverarbeitet werden sollten, auch für den Amateur von Interesse. Heinemann & Rammeloo (1985) kritisieren das inzwischen nur noch von wenigen Mykologen praktizierte Runden der Meßwerte auf $0,5 \mu\text{m}$ und zeigen anhand einer eindrucksvollen Gegenüberstellung die steigende Unsicherheit der Maßangaben mit kleiner werdenden Abmessungen. Wie Abb. 1 veranschaulicht, reflektiert die auf $2 \times 1 \mu\text{m}$ gerundete Größenangabe für eine Spore mit elliptischem Querschnitt eine durchaus unbestimmte Vorstellung von der geometrischen Form dieser Spore. Da der Wert der Länge vor der Rundung zwischen $1,8$ und $2,2 \mu\text{m}$, der Wert der Breite zwischen $0,8$ und $1,2 \mu\text{m}$ liegen kann, ist ein Fehlbetrag von 10% bei der Länge bzw. von 20% bei der Breite möglich, der Quotient aus Länge und Breite kann gar um 33% abweichen und eine Ungenauigkeit von 60% beinhalten. In der gleichen Größenordnung liegt die maximale Ungenauigkeit der resultierenden Sporenvolumina; diese in Spalte 5 ausgewiesenen Werte wurden zum Vergleich an die aus Heinemann & Rammeloo kopierte Tabelle angeführt. Nun bedarf allerdings die Darstellung bei Heinemann & Rammeloo einer weiteren Interpretation, sobald man die Meßgenauigkeit mit einbezieht: wir betrachten zur Vereinfachung kugelförmige Modellsporen mit gleichem Durchmesser von $2,3 \mu\text{m}$. Nach ausreichend vielen Messungen dieser Sporen würden die Meßwerte bei einer Meßgenauigkeit von $\pm 0,2 \mu\text{m}$ im Bereich von $2,1$ bis $2,5 \mu\text{m}$ liegen, folglich wäre bei Rundung auf $0,5 \mu\text{m}$ eine Angabe von 2 bis $2,5 \mu\text{m}$ vorzunehmen. Da nicht auszuschließen ist, daß diese letzten, gerundeten Werte aus $1,8$ bzw.

2,7 μm hervorgegangen sind und darüberhinaus mit dem Ablesefehler $\pm 0,2 \mu\text{m}$ behaftet sein können, resultiert schließlich ein gewissermaßen vom Meßfehler überlagertes „Meßresultat“ von 1,6 bis 2,9 μm für die einheitlich 2,3 μm messenden Modellsporen.

Und wie sieht es ohne die 0,5 μm -Rundung aus? Hier wäre unter Berücksichtigung des gleichen Ablesefehlers als fehlerbehaftetes „Resultat“ der Bereich 1,9 bis 2,7 μm zu notieren. Zugegebenermaßen vermag diese Betrachtung keine besonders überzeugende Begründung der von H e i n e m a n n & R a m m e l o o (1985) geforderten hohen Ablesegenauigkeit zu liefern. Da sich aber bei einem statistischen Meßverfahren Meßwertstreuungen aus mathematischen Gründen z. T. ausgleichen, muß eine möglichst hohe Ablesegenauigkeit (von 1/10 bis 1/5 Skalenteilen) angestrebt werden. Es besteht Anlaß zu der Bemerkung, daß der letzte Satz ganz besonders für die Messung der **Sporenbreite** gilt, weil die Breite nicht selten als die weniger wichtige Dimension angesehen wird. G r o ß (1972) stellt hierzu fest, daß die Unterschätzung der Breite aus der Nichtbeachtung des quadratischen Einflusses dieses Maßes auf das Sporenvolumen (und damit auf die Sporenmasse) resultiert. So kann eine Längenzunahme von 20 auf 30 μm volumenmäßig mit einer Durchmessererringerung von 12 auf 10 μm kompensiert werden. Da sich darüber hinaus der Ablesefehler bei dem zahlenmäßig kleineren Wert der Breite (exakter: des Durchmessers) relativ stärker auswirkt als bei der Länge, ist die Breite als die entschieden kritischere Größe zu betrachten.

4. Statistische Auswertung und Dokumentation

Die von einem Beobachter formulierten Meßresultate geben in der Regel einen Größenbereich sowohl der Längen- als auch der Breitenmaße an. Extremwerte werden in individuell verschiedener, letztlich aber oft willkürlicher Weise als Ausreißer definiert und separat (z. B. in Klammern) als solche ausgewiesen. Wie nun gezeigt werden soll, enthalten derartige Angaben nur ein Minimalmaß an Information, wobei die Frage, ob Meßresultate verschiedener Beobachter wegen abweichender Arbeitsbedingungen überhaupt vergleichbar sind, noch hinzu kommt. Die Bereichsangabe für die Abmessungen allein liefert keine ausreichend genaue Vorstellung von der geometrischen Gestalt der Sporen, weil zur Bestimmung des Formfaktors L/B (Länge geteilt durch Breite) die Zuordnung der Längen- zu den Breitenwerten fehlt. Diesem Mangel wird seit einiger Zeit in zunehmendem Maße durch Angabe auch des L/B -Bereiches begegnet. Das hier diskutierte klassische Ausgabeformat liefert z. B. auch keine direkte Auskunft darüber, ob es sich bei den ausgemessenen Sporen um ein normales, unproblematisches Präparat gehandelt hat. Für G r o ß (1976) gehört jedoch die Abschätzung dieser Frage zu den einführenden Hinweisen über das Messen von Sporen und der Angabe der Resultate. Danach kann man mit einem normalen Präparat rechnen, wenn die maximalen Abweichungen der Längen- bzw. Breitenmaße von ihrem Mittelwert (errechnet aus der größten und der kleinsten gefundenen Spore) die Marge von 12–15 % nicht übersteigen. An gleicher Stelle wird auch die Zweckmäßigkeit der Angabe des Mittelwertes herausgestellt. H e i n e m a n n & R a m m e l o o (1985) heben hervor, daß auch bei Messung einer lediglich geringen Sporenanzahl die Mittelwerte berechnet werden sollen, da diese signifikanter seien als die beobachteten Grenzwerte. Vorstehende Betrachtungen führen zu der Fragestellung, ob der Informationswert der klassischen Darstellungsweise ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand erhöht werden könnte. Diese Frage ist einerseits infolge eines unzumutbaren Rechenaufwandes zu verneinen, und insofern darf die kritische Auseinandersetzung mit der üblichen Form der Meßwertdarstellung nicht als eigentliche Kritik mißverstanden werden; wichtig ist vielmehr sich über den methodisch bedingt begrenzten Aussagewert im klaren zu sein. Nun jedoch zum „andererseits“: bereits mit Hilfe eines kleinen programmierbaren Rechners ist es möglich,

die Meßwerte nach einfachen statistischen Verfahren aufzuarbeiten, so daß sich schließlich — ohne jeglichen zusätzlichen Arbeitsaufwand für den Beobachter — aus den gleichen Messungen einer Untersuchung qualitativ wertvollere Aussagen ergeben. Wie noch zu zeigen sein wird, kann bei Verwendung eines druckenden Kleinstcomputers die Mikroskopier- und Protokollierarbeit, sogar erheblich erleichtert werden. Es bietet sich an, die Meßresultate im Format der mittels Rechner leicht zu berechnenden sogenannten Normalverteilung anzugeben. Bereits im 19. Jahrhundert führten anthropologische Messungen zu der Annahme, daß biologische Größen einer Gaußverteilung unterliegen, die deshalb als Normalverteilung bezeichnet wurde und als Basis für statistische Verfahren diente. Die in diesem Zusammenhang interessierenden elementaren Rechengrößen sind wie folgt definiert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{100s}{\bar{x}} \%$$

Verwendete Formelzeichen:

$\bar{x}$ Mittelwert (arithmetisches Mittel)

n Anzahl der Meßwerte

i Laufende Nummer des Meßwertes

x_i Einzelmesswert der Nummer i

s Standardabweichung

v Variationskoeffizient (relative Standardabweichung)

Nach den Erfahrungen von Heine mann & Rammel o (1985) beziehen sich die klassischen Angaben der Sporenabmessungen oft auf einen Bereich von $\bar{x} \pm 2s$, der, wie aus Abb. 2 ersichtlich ist, den allergrößten Teil der einer Normalverteilung zugrunde liegenden Meßwerte, nämlich 95,4 % erfaßt. Dieser Bereich ist für eine der drei im Bild eingezeichneten Glockenkurven unterlegt.

Die Autoren weisen darauf hin, daß die Verteilung einer Sporenpopulation nicht zwangsläufig normal ist und daher der begrenzte Aussagewert zu beachten ist. Cl é m e n ç o n (1979) formuliert noch etwas strenger, daß die Anwendung statistischer Verfahren nur dann zulässig sei, wenn die Meßwerte einer untersuchten Sporenpopulation auch tatsächlich einer Normalverteilung gehorchen. Auf ein diesbezügliches von G r o ß (1976) angesprochenes Kriterium für das Erkennen eines „unproblematischen Präparates“ wurde bereits verwiesen. Unter der ausdrücklichen Einschränkung, mit dem mathematisch eindeutig definierten Größenbereich $\bar{x} \pm 2s$ einer Normalverteilung keine Aussage über die tatsächliche Art der Verteilung machen zu wollen, wird vorgeschlagen, diesen mittels Rechner bestimmbar, normierten Größenbereich als Basis einer aufschlußreicherer Angabe der Sporenabmessungen zu benutzen. Als Begründung hierfür sei angeführt, daß ergänzend zu den Größenbereichen vom Rechner sämtliche interessierenden Mittelwerte ausgegeben werden können und darüber hinaus die Werte für Standardabweichung und Variationskoeffizient der unterstellten Normalverteilung zur Verfügung stehen. Somit ist aus diesen Daten ggf. auch ersichtlich, daß die im Interesse einer Standardisierung der An-

gabe der Meßresultate in das „Korsett“ der Normalverteilung gepreßte Sporenpopulation nicht einer Normalverteilung gehorcht. Damit kommen wir zurück zu Heine mann & Ramello (1985), die für jede der Größen Länge, Breite und den Quotienten aus Länge und Breite L/B, den Mittelwert $\bar{x}$, die Standardabweichung s sowie den Variationskoeffizienten v berechnen. Als Ausdruck zur Darstellung des Streubereiches wird die oben genannte Größe $\bar{x} \pm 2s$ verwendet. Während für Vergleiche mit Literaturangaben wenige Messungen genügen mögen, sollten für Messungen mit einem gewissen statistischen Aussagewert mindestens 20, zur Berechnung von Mittelwerten bei unbekannter Verteilung besser noch 30 Sporen ausgemessen werden. Schon Cléménçon (1979) hatte 25 Messungen für erforderlich gehalten, um die Variationsbreite „nicht durch Erraten (wie das meist geschieht)“, sondern durch statistische Berechnung angeben zu können. Bezüglich der Sporenvolumenberechnung führt Cléménçon an gleicher Stelle an, daß in Fällen, wo die Sporenformen stärker vom Rotationsellipsoid abweichen, besser angepaßte, mathematisch komplexere Formeln (etwa für Rotationsovoide = eiförmige Körper oder für die tropfenförmigen Sporen von *Marasmius oreades*) nur geringfügige und vernachlässigbare Unterschiede ergaben.

5. Taschencomputer und mikroskopische Messung

Demonstration der Einsatzmöglichkeiten

Nach der Diskussion einiger wichtiger Aspekte der Sporenmessung kann nunmehr gezeigt werden, daß durch den Einsatz eines relativ einfachen Kleinstrechners einige der Voraussetzungen für eine Standardisierung der Sporenmessung gewissermaßen als Programmbestandteil automatisch realisiert werden.

Der hier verwendete Taschencomputer erlaubt über ein Zeilendisplay einen Dialogverkehr mit dem Benutzer. Der Rechner stellt fortwährend Fragen an den Anwender, die von diesem zu bejahen bzw. zu verneinen (Y für Ja, N für Nein) oder aber durch Eingabe z. B. der am Mikroskop abgelesenen Skalenwerte zu beantworten sind. Das Programm ist weitgehend verriegelt gegen Fehlbedienungen, so daß der Computer bei erkennbar unsinnigen Antworten durch ein Tonsignal auf einen Eingabefehler aufmerksam macht und in der Anzeige dazu auffordert, korrekte Werte einzutasten. Beim Anwählen des Programmzweiges „Sporenmessung“ über eine hierfür reservierte Starttaste werden vom Rechner Medium, Format der Abmessungen (Länge x Breite oder alternativ – bei kugeligen Sporen – nur Durchmesser), Objektivvergrößerung sowie Anzahl der Meßwerte erfragt. Die Bezeichnung des Mediums ist im Interesse einer übersichtlichen normierten Ausgabe an die begrenzte Papierbreite des Druckers angepaßt; bei zu langen Ausdrücken verlangt der Computer eine gekürzte Bezeichnung. Im Programm sind für vier Objektiv/Okular-Paarungen des Mikroskops sowie für zwei Objektiv/Okular-Paarungen der Stereolupe die mittels Objektmikrometer bestimmten Skalenfaktoren abgelegt, so daß der Rechner lediglich die verwendete Objektivvergrößerung als Eingabe benötigt. Am Mikroskop bzw. Stereomikroskop nicht vorhandene Objektivvergrößerungen werden beim Eingabeversuch zurückgewiesen. Das System ist derart programmiert, daß – obwohl nicht weniger als 20 bis 30 Sporen gemessen werden sollten – mindestens 10, höchstens aber 256 Meßwerte eingegeben werden können. (Falls lediglich eine orientierende Aussage über die Sporengrößen erwünscht wird, kann über eine andere Programmwahltaste eine von/bis -Angabe berechnet werden.) Nach dem automatischen Ausdrucken des Mediums sowie der Gesamtvergrößerung fordert die Anzeige zur Eingabe der Meßwerte im vorgewählten Format auf, wobei für einige Sekunden die laufende Sporennummer angezeigt wird. Nach der Eingabe aller Meßwerte werden neben der laufenden Sporen-Nummer für jede Spore

Länge und Breite (bzw. bei runden Sporen lediglich der Durchmesser) in μm , dazu bei unrunder Sporen der Formfaktor L/B ausgedruckt (vgl. Abb. 3). Anschließend berechnet der Computer die zugehörigen Mittelwerte und druckt sie aus. Intern wird auch für jede einzelne Spore – auf der Basis eines Rotationsellipsoids – das Sporenvolumen berechnet und der daraus resultierende Mittelwert ausgedruckt. Zusätzlich druckt der Rechner eine hiermit zur Diskussion gestellte Vergleichsgröße Q_v aus, die als Quotient aus mittlerem Sporenvolumen und jenem Sporenvolumen, das aus den mittleren Abmessungen resultiert, definiert ist. Eine Interpretation von Q_v folgt weiter unten. Schließlich werden die Abmessungen sowie ggf. der Wert L/B statistisch bearbeitet und sodann deren Verteilung – wie in Abschnitt 4 dargestellt – im Format einer Normalverteilung als $\bar{x} \pm 2s$ ausgedruckt, wobei die diesen Bereich unter- bzw. überschreitenden Werte in Klammern angegeben werden. Als Ergänzung werden jeder Größenverteilung die Werte für die Standardabweichung sowie für den Variationskoeffizienten vorangestellt. Bei der internen Verrundung der Ausgabewerte wurde im Interesse eines nicht ausufernden Programieraufwandes ein Kompromiß eingegangen, der wegen der Stellenangaben Anstoß erregen mag. Gleiches gilt für den Schönheitsfehler, daß bei Zahlenwerten unter 3, die auf zwei Dezimalen gerundet werden, z. B. anstelle 2,00 lediglich 2 ausgedruckt wird. Kritiker mögen bedenken, daß hier versucht wird, mit minimalem apparativem Aufwand ein Maximum an Automation zu realisieren.

Kommen wir zurück zur kritischen Frage der Normalverteilung und zitieren hierzu Heinemann & Ramello (1985). Nach ihren Erfahrungen liegt der Variationskoeffizient im allgemeinen bei 5 %, in aller Regel unter 10 % (Anmerkung: so daß eine Normalverteilung unterstellt werden darf). Abgefallene (d. h. ausgereifte) Sporen weisen einen geringeren Variationskoeffizienten auf als solche, die dem Hymenium entnommen wurden. Erst wenn die 10 %-Grenze überschritten werde, müsse eine große Sporenanzahl ausgemessen und die Art der Verteilung durch statistische Analyse bestimmt werden; eine Aufgabe, die den Amateur nicht zu interessieren braucht. Wichtig für vorliegendes Ausgabeformat ist lediglich, daß aus dem ausgewiesenen Variationskoeffizienten ein Rückschluß auf eine „gestörte“ Verteilung abgeleitet werden kann. Dem gleichen Zweck dient der oben erwähnte Volumenquotient Q_v , der aus mathematischen Gründen mit steigendem Variationskoeffizienten größer wird als 1,00 (gerundet auf 2 Dezimalen) und dann zwar keinen Beweis, jedoch ein Indiz für eine unnormale Verteilung liefern kann. Der praktische Wert dieser Größe wird darin gesehen, daß u. U. auch bei nicht bekanntem Variationskoeffizienten (bzw. unbekannter Standardabweichung) ein wenigstens orientierendes Indiz für eine evtl. unnormale Verteilung zur Verfügung steht. Es ist in diesem Zusammenhang interessant, daß eine diesbezügliche Betrachtung der bei Eihellinger (1985) angegebenen Daten lediglich in zwei Fällen (bei *R. fuscorubroides* und *R. veternosa*) eine deutliche Abweichung des Q_v -Wertes von 1,00 ergab. Erinnert wird an die bereits zitierte Mahnung von Groß (1976), sich zu vergewissern, ob ein unproblematisches Präparat vorliege; die ausgedruckten Größen s , v und Q_v vermögen diese Frage zu beantworten. Clémenton (1979) hatte die 100 für Buller's (1909) Sporenpulver Nr. 3 veröffentlichten Meßwerte mit exakten wissenschaftlichen Verfahren auf Normalverteilung geprüft und im Ergebnis die Abweichungen von der theoretischen Normalverteilung als trivial und zufällig bezeichnet. Abb. 4 zeigt, welche Informationen das hier beschriebene System nach Eingabe und Verarbeitung der Buller'schen Meßwerte liefern kann.

Auch den Amateur dürfte andeutungsweise interessieren, welche Ursachen für eine unnormale Sporengrößenverteilung in Betracht kommen könnten. Heinemann & Ramello (1985) zeigen auf, daß eine asymmetrisch verbreiterte, zu den größeren Werten hin verflachte Verteilungskurve mit einem Gipfel auf das Vorhandensein abnormal großer

Sporen hinweist, wofür bestimmte Umgebungsbedingungen (Wachstum, Transport oder auch Trocknung) verantwortlich sein könnten. Dagegen deute eine Kurve mit mehreren Gipfeln eine Heterosporie an, die z. B. mit unterschiedlichen Sporenzahlen pro Basidie oder auch mit deutlich verschiedenen großen Basidien in Zusammenhang zu bringen ist. Aber auch bei Untersuchung eines Präparates, dessen Sporen verschiedenen Fruchtkörpern entstammen, erhält man u. U. — sozusagen hausgemachte — Störungen in der Verteilung infolge deutlich unterschiedlicher Sporenkollektive.

Ein weiteres Mal seien G r o ß & S c h m i t t (1974) zitiert, um den wissenschaftlichen Arbeitsaufwand zur statistischen Analyse komplizierter Größenverteilungen anzudeuten: Aus ihrer hier als Abb. 5 wiedergegebenen Fig. 12 wird ersichtlich, daß die Sporengrößenverteilung bei *Scleroderma areolatum* eine komplizierte Funktion darstellt, die man sich als Resultat einer Überlagerung von mehreren Sporenteilkollektiven mit Normalverteilung vorstellen kann. Die Tatsache, daß — wie Fig. 12a und Fig. 12b zeigen — innerhalb des gleichen Fruchtkörpers derartig gravierende Größenunterschiede der Sporen vorkommen können, veranlaßt die Autoren zu der Schlußfolgerung, daß die Entnahme von Sporenpräparaten irgendwie normiert werden sollte. Nicht ohne Faszination für den Amateur ist die Diskussion der funktionellen Bedeutung so deutlicher Größenunterschiede der Sporen — hier von *S. areolatum*: während bei günstigen Bedingungen die peridiennahen, kleineren — und deshalb vom Wind leichter zu transportierenden — Sporen vorrangig der Verbreitung der Art auf entfernte Standorte dienen, ermöglichen die größeren, unter weniger optimalen Bedingungen reifenden bzw. freiwerdenden Sporen des Fruchtkörperzentrums die Arterhaltung am Standort auch bei ungünstigen Überlebenschancen für das Pilzmyzel. Abb. 6 zeigt, zu welchem Resultat der Taschencomputer gelangt, nachdem 98 der 100 bei G r o ß & S c h m i t t aufgeführten Nettoabmessungen (2 Meßwertepaare waren leider der Literatur-Kopie zum Opfer gefallen) eingegeben und das Resultat in das — wie oben bereits erläutert — streng genommen unzulässige Format der Normalverteilung gefaßt wurden. Die über 9 % liegenden Variationskoeffizienten für Länge und Breite sowie der mit 1,02 ausgewiesene Wert für Q_v liefern zumindest ein Indiz für das Vorhandensein eines im Sinne von G r o ß (1976) problematischen Präparates.

Der Rechner befragt auch den Benutzer, ob die Sporen erheblich vom dem der Volumeberechnung zugrundeliegenden Rotationsellipsoid abweichen. Nach Beantwortung dieser Frage mit Ja (Y) wird — wie z. B. aus Abb. 7 hervorgeht — ein betreffender Vermerk ausgedruckt. Indessen sind diese systematisch falschen Volumendaten in der Regel nur um einen Korrekturfaktor vom tatsächlichen Volumen verschieden, so daß sie zu Vergleichszwecken durchaus verwendbar sind. Auch hier liefern die bei 10 % liegenden Variationskoeffizienten für Länge und Breite sowie der Volumenquotient $Q_v = 1,02$ ein Indiz für die von G r o ß (1972) analysierte komplexe Größenverteilung einer Präparation der Sporen von *Hymenogaster luteus*.

Ein Gesichtspunkt, der bislang noch nicht angesprochen wurde, ist die z. B. bereits von N e u h o f f (1956) erwähnte Notwendigkeit, daß die Sporen ggf. in verschiedenen Ansichten zu untersuchen sind. Die bei H e i n e m a n n & R a m m e l o o (1985) entliehene Abb. 8 veranschaulicht die beiden Ansichten einer Basidiospore. Als Breite in Frontalansicht oder Breite im engeren Sinne wird jene Ansicht definiert, bei der der Sporenapi-kulus mittig zu liegen kommt. Die andere Ansicht repräsentiert die Breite in Profil- oder Seitenansicht. Ob diese Größe — wie ebenda notiert — als Dicke bezeichnet werden soll, ist Definitionssache. Wichtig ist, daß ein deutlicher Unterschied zwischen der Breite in Frontal- und Profilansicht für die Bestimmung von Bedeutung ist und daher erfaßt werden muß. Der Computer fragt deshalb im Falle erheblich vom Rotationsellipsoid abweichender Sporen, ob diese abgeplattet sind. Im positiven Falle fordert der Rechner dazu auf,

die Grenzwerte für die Sporendicke einzugeben und möchte sodann wissen, ob die Sporendicke der Profilansicht entspricht. Als Ergebnis wird schließlich unter Verwendung der bereits zuvor berechneten mittleren Breite die annähernde dorsiventrale (d. h. auf Rücken/Bauch-Richtung bezogene) Abplattung ausgedruckt. Abb. 9 zeigt ein konstruiertes Beispiel zur Veranschaulichung einer solchen Situation. Die stark abweichenden Werte des Variationskoeffizienten und des Q_v -Wertes machen deutlich, daß dieses willkürlich erfundene „Sporenkollektiv“ sehr stark von einer Normalverteilung abweicht. Aus der Abbildung ist auch ersichtlich, daß im Anschluß an die Meßwertausgabe ergänzende Kommentare angefügt werden können.

Eine Reihe weiterer Begriffe wie Sporenornamente, Basidien, Cheilo-, Pleuro-, bzw. Dermatozystiden, Haare, Setae, Asci usw. sind zwecks mikroskopischer Meßwertverarbeitung speziellen Programmtasten zugeordnet. Eine „Leertaste“ gestattet es, beliebige Begriffe (z. B.: Velumhyphen, Sporen) einzugeben und dafür – je nach gewünschtem Format (Dicke oder Länge x Breite) – die von/bis-Bereiche ausdrucken zu lassen. Abschließend sei anhand der Abb. 10 demonstriert, wie nach Aufkleben des zerschnittenen schmalen Rechnerausdruckes auf ein DIN A4-Blatt das Bestimmungsprotokoll – hier von *Russula puellula* – aussieht.

6. Diskussion

Ganz unabhängig von ihrer von Fall zu Fall unterschiedlichen Bedeutung haftet mikroskopischen Messungen bei allen nicht normierten Meßverfahren der Nachteil an, daß die Meßresultate verschiedener Beobachter nur einen sehr begrenzten vergleichenden Aussagewert besitzen. Da neben den Fachmykologen auch eine große Anzahl interessierter Pilzamateure dazu beiträgt, das Wissen über die Großpilze zu vermehren, ist es nicht nur wünschenswert, sondern unumgänglich, nach gewissen Richtlinien zu verfahren, wenn die Meßergebnisse untereinander vergleichbar sein sollen. Obwohl nicht bestritten werden kann, daß einem normierten Verfahren erhebliche Schwierigkeiten im Wege stehen, scheint folgende Lösung als ein erster Schritt in eine bessere Richtung denkbar: Zunächst sollten von kompetenter Seite methodisch wichtige Punkte (angefangen von der Präparatherstellung bis hin zur Mikroskophandhabung) nicht nur diskutiert, sondern verbindlich festgelegt werden. Durch Verwendung eines programmierbaren, druckenden Rechners ließe sich – bei vorgegebener Programmspezifikation – ein Mindestmaß an Information über die Meßbedingungen (Vergrößerung, Medium, Anzahl der gemessenen Sporen) leicht „antrainieren“ und anhand der Druckerausgabe auch kontrollieren. Außerdem gestattet es der Rechner, die Meßwerte statistisch aufzuarbeiten und diese in einem normierten Format auszugeben. Es wird vorgeschlagen, hierfür im Interesse einer allgemeinen Vergleichbarkeit – unabhängig von der tatsächlichen Art der Verteilung – den Größenbereich $\bar{x} \pm 2s$ der sogenannten Normalverteilung zu benutzen. Die für jeden Größenbereich ausgewiesenen Werte der Standardabweichung bzw. des Variationskoeffizienten sowie eines Volumenquotienten Q_v können dem Fachmann ggf. als Indiz für eine unnormale Verteilung dienen.

Ein sekundäres, im Zusammenhang mit den Anschaffungskosten eines geeigneten Rechners – mindestens eines Taschencomputers – jedoch gewichtiges Argument ist, daß der Gesamtarbeitsaufwand mikroskopischer Messungen ganz erheblich verringert und der Rechner zugleich für die Dokumentation von Meßergebnissen und sonstigen Beobachtungen benutzt werden kann.

Danksagung: Für die freundliche und großzügige Hilfe bei der Beschaffung von schwer zugänglicher Fachliteratur danke ich sehr herzlich Herrn Dr. W. Jülich (Leiden) sowie Herrn G. J. Krieglsteiner (Schwäbisch Gmünd).

Literatur

- BULLER, A. H. R. (1909) – Researches on Fungi, Vol. 1 Longmans, Green and Co. London
 CLÉMENÇON, H. (1972) – Zwei verbesserte Präparierlösungen für die mikroskopische Untersuchung von Pilzen. Z. Pilzk. 38.
 – (1979) – Biometrische Untersuchungen zur Variabilität der Basidiosporen. Sydowia, Beiheft 8.
 DAS MIKROSKOP UND SEINE ANWENDUNG (1977). Leitz-Druckschrift 512–69c.
 DUNCAN, E. G. & M. H. GALBRAITH (1973) – Variation in the Dimensions of Basidiospores during the Discharge Period. Trans. Br. Mycol. Soc. 60(3).
 EINHELLINGER, A. (1985) – Die Gattung *Russula* in Bayern. Hoppea 43.
 ERB, B. & W. MATHEIS (1983) – Pilzmikroskopie. Kosmos Handbuch, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.
 GROSS, G. (1972) – Kernzahl und Sporenvolumen bei einigen Hymenogasterarten. Z. Pilzk. 38.
 – (1976) – Messen von Pilzsporen. Z. Pilzk.: 42 (211–213).
 – & J. A. SCHMITT (1974) – Beziehungen zwischen Sporenvolumen und Kernzahl bei einigen Höheren Pilzen. Z. Pilzk. 40.
 GROSSES HANDBUCH DER MATHEMATIK (1967) – Buch und Zeit Verlagsges. mbH Köln.
 HEINEMANN, P. & J. RAMMELOO (1985) – De la mesure des spores et de son expression. Agarica 6, No. 12.
 LARGENT, D., D. JOHNSON & R. WATLING (1977) – How to identify Mushrooms to Genus 3: Microscopic Features. Mad River Press Inc. Eureka.
 MOSER, M. (1983) – Kleine Kryptogamenflora Bd. 2b/2. Die Röhrlinge und Blätterpilze.
 NEUHOFF, W. (1956) – Die Pilze Mitteleuropas Bd. 2b. Die Milchlinge. Bad Heilbrunn.
 TOGASHI, K. & K. ODA (1934) – Spore-size Variability in subsequent Spore Prints of some Hymenomycetous Fungi. Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc. 13, Pt. 3.
 WATLING, R. (1975) – Studies in Fruit-body Development in the *Bolbitiaceae* and the Implications of such Work. Beiheft 51 zur Nova Hedwigia (319 ff.).

Taschencomputer:

SHARP PC-1500, Farbgraphikdrucker/Cassetteninterface CE-150, Speichererweiterungs-Modul CE-161 und Datenrecorder.

Nachtrag (16.2.1987)

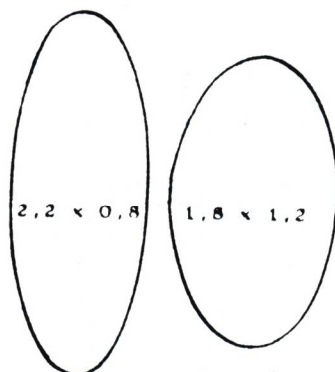
Inzwischen liegt eine neu bearbeitete Programmversion vor, die unter anderem folgende Änderungen beinhaltet:

- neben den Sporen können auch andere beliebige Elemente statistisch bearbeitet werden, wobei die Volumendaten auf die Sporenmessungen beschränkt sind.
- die Datenausgabe erfolgt wahlweise in Kurz- oder Langform. Erstere liefert Einzel- und Mittelwerte sowie Populationsgrenzen und Varianz. Bei der Langform werden zusätzlich Standardabweichung, Variationskoeffizient, Schiefe und Exzess ausgedruckt.
- die Berechnung der Populationsgrenzen erfolgt gemäß den Forderungen von Prof. Cléménçon (1986) als

$$\text{Mittelwert} \pm t \cdot \text{Standardabweichung}$$
- der Rechner ermöglicht die Beurteilung des Unterschiedes zweier Populationen mittels t-Test und F-Test (ebenfalls gem. Cléménçon).

Literatur (Ergänzung):

CLÉMENÇON, H. (1986) – Sinn und Unsinn bei der Sporenmessung. Vortrag anlässlich der Jubiläumstagung der Mykologischen Gesellschaft Luzern im November 1986.



Erreurs et imprécisions maximales pour quelques spores ellipsoïdes de 2 à 7 μm de long et dont les dimensions ont été arrondies au demi-micromètre.

1	2	3	4	
2 x 1	10	33,3	60	1. Valeurs arrondies au demi-micromètre
3 x 2	6,7	18,0	33,5	2. Erreur maximale sur la longueur en % de L.
3,5 x 2	5,7	16,7	31,0	3. Erreur maximale sur le rapport L/l en % de L/l.
4 x 2	5,0	15,6	30	4. Imprécision maximale sur le rapport L/l, en % de L/l.
5 x 3,5	4,0	12,3	22,5	
6 x 3	3,3	11,1	21,0	
7 x 4	2,9	8,0	15,5	
7 x 4,5	2,9	7,6	14,0	

5
60
28
30
30
16
20
14
12

5. max. Vol. -Fehler
(in % vom Vol.)

Abb. 1: Einfluß der 0,5 μm -Rundung auf die Sporenabmessungen (aus Heinemann & Ramello (1985); ergänzt durch die Angabe des max. Volumenfehlers)

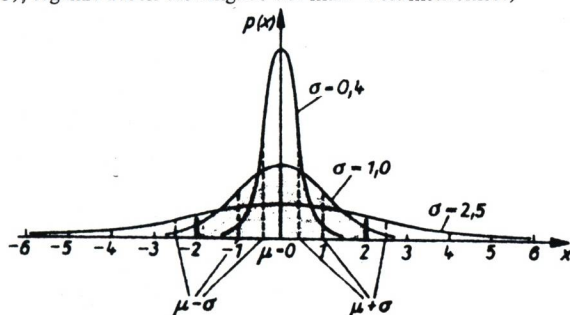


Abb. 2: Häufigkeitsdichte der Gaußverteilung (aus Großes Handbuch der Mathematik (1967); leicht modifiziert)

Sporen
(in L4)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um) × B(um)	L/B
1	10.3 6	1.72
2	9.7 6.3	1.54
3	10.3 6.3	1.63
4	9.7 5.5	1.76
5	10.3 6.3	1.63
6	8.9 5.8	1.53
7	9 5.8	1.55
8	8.9 5.8	1.53
9	9.5 6	1.58
10	9.6 6.3	1.52
11	9.2 5.8	1.59
12	10 6.3	1.59
13	10.3 5.9	1.75
14	9.5 6	1.58
15	9 5.8	1.55
16	10 5.8	1.72
17	8.4 5.8	1.45
18	9.2 5.5	1.67
19	9.6 5.9	1.63
20	9.5 5.9	1.61
21	9.5 6	1.58
22	9.5 6.3	1.51
23	9.2 5.8	1.59
24	10 6.3	1.59
25	9.7 6.3	1.54
26	9.5 6.3	1.51
27	9.2 6	1.53
28	9.4 6.1	1.54
29	9 5.8	1.55
30	8.9 5.8	1.53

Mittelwerte

Lm(um)=9.49
Bm(um)=5.98
(L/B)m=1.59
Um(um3)=179
Qv=1

$Qv = Um / U(Lm, Bm)$

Normalverteilung
($x \pm 2s$; P=95.4%)

Laenge(um):
($s=0.49um$ $v=5.2\%$)
von (8.4)8.5
bis 10.5
Breite(um):
($s=0.25um$ $v=4.2\%$)
von 5.5
bis 6.5
Laenge/Breite:
($s=0.08$ $v=5\%$)
von 1.44
bis 1.74(1.76)

Gal. autumnalis

Sporen
(in Wasser)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um) × B(um)	L/B
1	5.8 3.2	1.81
2	5.4 3.5	1.54
3	5.3 3.4	1.56
4	5.5 3.4	1.62
5	5.8 3.6	1.61
6	5.7 3.6	1.58
7	6.6 3.9	1.69
8	5.3 3.4	1.56
9	5.3 3.4	1.56
10	6.1 3.5	1.74
11	5.5 3.5	1.57
12	6.3 3.7	1.7
13	5.9 3.7	1.59
14	5.7 3.6	1.58
15	5.5 3.3	1.67
16	5.9 3.5	1.69
17	6 3.3	1.82
18	6 3.4	1.76
19	5.8 3.4	1.71
20	6 3.6	1.67
21	5.5 3.4	1.62
22	6 3.6	1.67
23	5.5 3.4	1.62
24	5.7 3.5	1.63
25	5.9 3.8	1.55
26	5.7 3.3	1.73
27	5.3 3.5	1.51
28	5.9 3.5	1.69
29	6.2 3.2	1.94
30	6.3 3.7	1.7

Mittelwerte

Lm(um)=5.78
Bm(um)=3.49
(L/B)m=1.66
Um(um3)=37
Qv=1

$Qv = Um / U(Lm, Bm)$

Normalverteilung
($x \pm 2s$; P=95.4%)

Laenge(um):
($s=0.33um$ $v=5.7\%$)
von 5.1
bis 6.4(6.6)
Breite(um):
($s=0.17um$ $v=4.9\%$)
von 3.2
bis 3.8(3.9)
Laenge/Breite:
($s=0.1$ $v=6\%$)
von 1.46
bis 1.85(1.94)

Phol. muelleri

Abb. 3: PC-Meßprotokoll von *G. autumnalis* und *P. muelleri* (Anmerkung: PC steht für Pocket-Computer)

Sporen
(in Wasser)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.	$\emptyset$ (μm)
1	11.7
2	11.2
3	11.4
4	12.8
5	11.4
6	12.2
7	10.1
8	11.6
9	11.7
10	11.8
11	12.2
12	11.8
13	10.4
14	10.8
15	13
16	11.8
17	10.8
18	11.2
19	10.9
20	12.1
21	11.4
22	11.2
23	12.4
24	10.8
25	11.2
26	11.1
27	11
28	11.4
29	12
30	11.8
31	13
32	10.3
33	12
34	11.2
35	11.6
36	12.5
37	11.7
38	11.7
39	12.4
40	11.5
41	11.6
42	12.4
43	13.4
44	11.6
45	12.4
46	12
47	12.4
48	11.5
49	11.6
50	11.6
51	11.8
52	12.2
53	12.2
54	10.5
55	12.1
56	11.3
57	10.9
58	10.3
59	11.2
60	12.3
61	11.6
62	11
63	10.7
64	12.7

65	11.3
66	11.3
67	12.2
68	11.4
69	11.5
70	12.5
71	13.5
72	11.4
73	10.8
74	10.3
75	12.4
76	13.7
77	11.2
78	11.7
79	10.8
80	11.6
81	11
82	12.3
83	11.4
84	12.8
85	11.3
86	11.8
87	11.5
88	12
89	10.9
90	11.2
91	12.2
92	11.1
93	11.9
94	12.2
95	11.2
96	13.2
97	10.3
98	11.8
99	11.7
100	10.4

Mittelwerte

$$\begin{aligned}\emptyset_m(\mu\text{m}) &= 11.65 \\ U_m(\mu\text{m}^3) &= 838 \\ Q_v &= 1.01\end{aligned}$$

$$Q_v = U_m / U(\emptyset_m)$$

Normalverteilung
($x \pm 2s$; $P=95.4\%$)

Durchmesser(μm):
 $\leq 0.75\mu\text{m}$ ($v=6.4\%$)
von 10.1
bis 13.1 (13.7)

A. vaginata/Specimen
n 3 aus: A.H. Buller
Researches on Fung
i, Vol. 1/1909

Abb. 4: PC-Meßprotokoll von *A. vaginata* mit Meßwerten aus Buller, A. H. R. (1909)

Fig. 12: *Scleroderma areolatum*

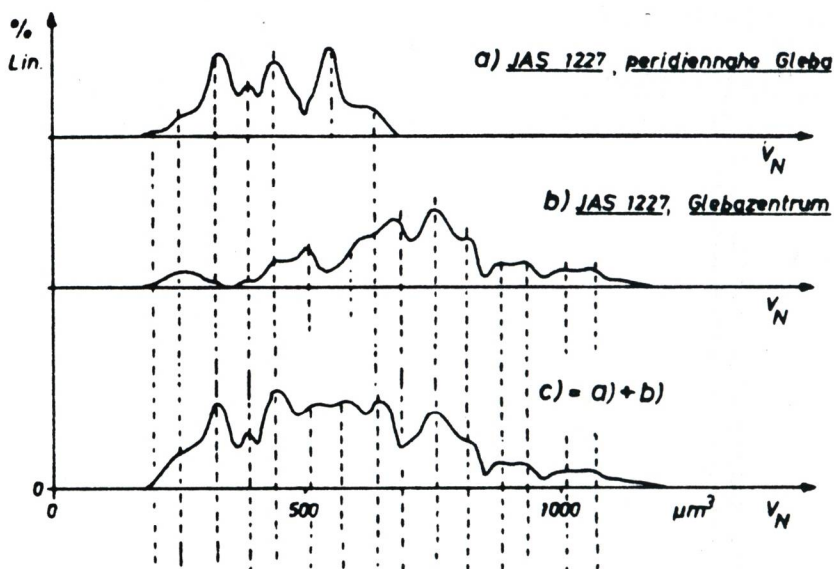


Abb. 5: Nettosporenvolumen-Verteilung von *S. areolatum* (aus Groß & Schmitt 1974)

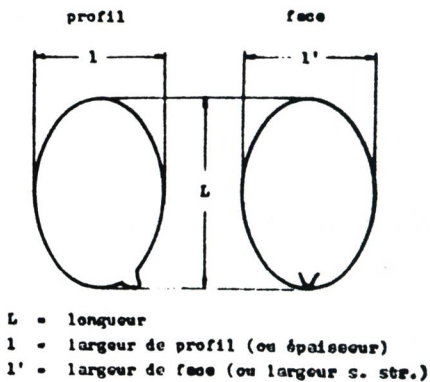


Abb. 8: Ansichten einer Basidiospore, aus Heinemann & Rammeloo (1985)

Sporen
(in KOH/3%)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um)	B(um)	L/B
1	10	9.5	1.05
2	10.5	10.2	1.03
3	8.5	8.3	1.02
4	11	10.1	1.09
5	6.7	6.7	1
6	9.5	9.2	1.03
7	10	10	1
8	10.6	10	1.06
9	11	10.4	1.06
10	8.8	8.6	1.02
11	11.5	10.3	1.12
12	9	9	1
13	9.2	8.2	1.12
14	9.6	9.3	1.03
15	9.1	8.3	1.1
16	10	10	1
17	9.5	9.4	1.01
18	10.5	10.5	1
19	10.5	9.4	1.12
20	9.6	9.3	1.03
21	9.7	9.4	1.03
22	10	9.3	1.08
23	9.5	9.3	1.02
24	8.5	8	1.06
25	8.7	8.4	1.04
26	7.7	7.5	1.03
27	8	7.7	1.04
28	9.4	9	1.04
29	9	8.5	1.06
30	8	7.8	1.03
31	9.9	9.6	1.03
32	9.7	9.4	1.03
33	9.1	8	1.14
34	10.5	9.5	1.11
35	10.6	10	1.06
36	9.2	8.5	1.08
37	9.1	8.2	1.11
38	9.3	8.5	1.09
39	10.9	10.4	1.05
40	9.7	9.3	1.04
41	8	8	1
42	10.7	10	1.07
43	10.3	10	1.03
44	8.4	8	1.05
45	8.8	8.3	1.06
46	9.5	9.3	1.02
47	9.5	8.3	1.14
48	10.3	10.3	1
49	9.7	9.5	1.02
50	10.5	10.5	1
51	10.6	10.2	1.04
52	10.4	10.1	1.03
53	10	9.5	1.05
54	9.3	8.1	1.15
55	9.5	9	1.06
56	10.7	9.7	1.1
57	10.1	9	1.12
58	11	10.6	1.04
59	11	10.7	1.03
60	10	10	1
61	10.4	10	1.04
62	10.2	10	1.02
63	9	8.5	1.06
64	8.8	8.5	1.04
65	11.3	10	1.13
66	9.8	9.5	1.03
67	10.2	10.1	1.01
68	10.1	10.1	1
69	9.2	9.1	1.01
70	9.4	9.3	1.01
71	10	9.5	1.05
72	9.1	8.5	1.07
73	10.7	9.9	1.08
74	9.5	8.7	1.09
75	10.5	10.4	1.01
76	9.1	8	1.14
77	10.4	10	1.04
78	10.4	10.1	1.03

79	9.5	9.5	1
80	9.5	9.1	1.04
81	8.7	7.6	1.14
82	9	9	1
83	11.8	10.1	1.17
84	10.4	9.7	1.07
85	9	8.9	1.01
86	9.1	9	1.01
87	9.9	9.6	1.03
88	9.7	9.4	1.03
89	9.4	9	1.04
90	9.2	8.5	1.08
91	9.1	9.1	1
92	10.4	10	1.04
93	11.1	10.6	1.05
94	10	10	1
95	9	8.8	1.02
96	9	8.7	1.03
97	8.7	8	1.09
98	9.9	9.6	1.03

Mittelwerte

$L_m(um) = 9.7$
 $B_m(um) = 9.25$
 $(L/B)_m = 1.05$
 $V_m(um^3) = 444$
 $Q_v = 1.02$

$Q_v = V_m / V(L_m, B_m)$

Normalverteilung
($x \pm 2s$; $P = 95.4\%$)

Laenge(um):

$(s = 0.88um \ v = 9.1\%)$
 von (6.7) 7.9
 bis 11.5 (11.8)

Breite(um):

$(s = 0.85um \ v = 9.2\%)$
 von (6.7) 7.5
 bis 11

Laenge/Breite:

$(s = 0.04 \ v = 3.8\%)$
 von 0.97
 bis 1.13 (1.17)

Sclerod. areolatum
 (Nettoabmessungen
 und -volumen), aus:
 G. Gross &
 J. A. Schmitt, Bezie-
 hungen zwischen
 Sporenvolumen und
 Kernzahl bei eini-
 gen Hoheren Pil-
 zen, ZfM 40, 1974.

Abb. 6: PC-Meßprotokoll von *S. areolatum*, Meßwerte aus Groß & Schmitt (1974)

Sporen
(in ?)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um)	B(um)	L/B
1	20	8	2.5
2	21	8.5	2.47
3	19	9.2	2.07
4	13.5	7.8	1.73
5	16	7	2.29
6	15	6.5	2.31
7	16	6	2.67
8	19	7.2	2.64
9	22	8.7	2.53
10	18	7.6	2.37
11	19.5	8	2.44
12	16.5	5.8	2.84
13	19	8.8	2.16
14	16	7.4	2.16
15	19	8	2.38
16	21	7.1	2.96
17	20	7	2.86
18	17	8	2.13
19	19	7	2.71
20	18	8.2	2.2
21	20	7.8	2.56
22	21	7.5	2.8
23	19	8	2.38
24	16	8.8	1.82
25	17	8	2.13
26	17	8	2.13
27	20.5	7.7	2.66
28	19	8.8	2.16
29	18	8	2.25
30	19	8	2.38
31	16	9	1.78
32	19.5	7.8	2.5
33	19	8	2.38
34	16	8	2
35	17	8	2.13
36	20	9.1	2.42
37	17	6.9	2.46
38	19	7.7	2.47
39	21	8.9	2.36
40	18.5	9	2.06
41	19	7.2	2.64
42	20	8	2.5
43	18	7.7	2.34
44	16	7.1	2.25
45	16.5	7	2.36
46	19	7.9	2.41
47	20.5	9.2	2.23
48	18	8	2.25
49	18	8.8	2.05
50	18	6	3

Mittelwerte

$L_m(um) = 18.34$
 $B_m(um) = 7.81$
 $(L/B)_m = 2.37$
 $U_m(um^3) = 596$
 $Q_v = 1.02$

$$Q_v = U_m / U(L_m, B_m)$$

Abb. 7: PC-Meßprotokoll von *H. luteus*, Meßwerte aus Groß (1972)

Abb. 8: s. S. 114 unten

Normalverteilung
($x \pm 2s$; $P = 95.4\%$)

Laenge(um):
 $(s = 1.82um \ v = 9.9\%)$
 von (13.5) 14.7
 bis 22
Breite(um):
 $(s = 0.8um \ v = 10.2\%)$
 von (5.8) 6.2
 bis 9.4
Laenge/Breite:
 $(s = 0.28 \ v = 11.8\%)$
 von (1.73) 1.8
 bis 2.93(3)

Anm.: U weist einen system. Fehler auf, da die Sp-Form erheb. v. Rotations-ellipsoid abweicht

Hymenog. luteus, aus
 G. Gross, Kernzahl
 und Sporenvolumen
 bei einigen Hymeno-
 gasterarten.
 ZfM 38, 1972.

Sporen
(in H₂O)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um)	B(um)	L/B
1	8	5.8	1.38
2	7	5.2	1.35
3	9.8	7	1.4
4	6.4	4.5	1.42
5	7.5	6	1.25
6	8	6.5	1.23
7	6.9	5.2	1.33
8	9	6.8	1.32
9	8.5	6.5	1.31
10	10	7.7	1.3
11	7	5.8	1.21
12	6.2	4.1	1.51
13	8	6	1.33
14	7.2	5.6	1.29
15	9.8	7	1.4
16	7	5.5	1.27
17	7.5	6.1	1.23
18	6.4	4.2	1.52
19	9	6.5	1.38
20	8.8	6.5	1.35
21	7.2	4.9	1.47
22	8.5	6.3	1.35
23	6.8	4.5	1.51
24	11	8	1.38
25	8.3	6	1.38
26	7.5	5.7	1.32
27	9.2	6.8	1.35
28	9	6.5	1.38
29	6.8	4.8	1.42
30	7.5	5.5	1.36

Mittelwerte

Lm(um)=7.99
Bm(um)=5.92
(L/B)m=1.36
Um(um3)=157
Qv=1.07

$Qv = Um / U(Lm, Bm)$

Normalverteilung
($x \pm 2s$; P=95.4%)

Laenge(um):

(s=1.22um v=15.3%)
von 5.6
bis 10.4(11)

Breite(um):

(s=0.97um v=16.4%)
von 4

bis 7.9(8)

Laenge/Breite:

(s=0.08 v=5.9%)

von 1.2

bis 1.52

Anm.: U weist einen system. Fehler auf, da die Sp-Form erheb. v. Rotations-ellipsoid abweicht

Sporendicke

Abmessung(um):

von 3.5 bis 5

dorsiventrale
Sporenabplattung

$B(\text{profil})/B(\text{front})$
ca=0.72

fast herzförmig.

konstruiertes Beispiel
Copr. spec.

Abb. 9: PC-Meßprotokoll abgeplatteter Sporen (konstruiertes Beispiel)

Sporen
(in Melzer)
(Vergr.: 1250-fach)

Einzelmessungen

Nr.:	L(um)	B(um)	L/B
1	8	6.7	1.19
2	8	6	1.33
3	7.7	6.1	1.26
4	7.6	5.9	1.29
5	7.7	6.4	1.2
6	7.1	6	1.18
7	7.6	5.9	1.29
8	7.2	5.8	1.24
9	8	6.6	1.21
10	7.6	6	1.27
11	7.7	6	1.28
12	7.6	6	1.27
13	7.6	6	1.27
14	7.7	6.7	1.15
15	7.4	6	1.23
16	7.7	6.1	1.26
17	7.6	6.2	1.23
18	7.6	6.2	1.23
19	7.6	5.9	1.29
20	7.6	6	1.27

Mittelwerte

Lm(um)=7.63
Bm(um)=6.13
(L/B)m=1.25
Um(um3)=150
Qv=1

Qv=Um/U(Lm, Bm)

Normalverteilung
(x+/-2s; P=95.4%)

Laenge(um):
(s=0.23um v=3%)
von (7.1)7.2
bis 8.1
Breite(um):
(s=0.27um v=4.4%)
von 5.6
bis 6.7
Laenge/Breite:
(s=0.04 v=3.2%)
von (1.15)1.16
bis 1.34

SPP(Romagn.): 2B

Sporenornamente
(in Melzer)
(Vergr.: 1250-fach)

Ornam.-Hoehe(um)
von 0.4 bis 0.7

stumpf feinwarzig,
meist mit mehreren
einfachen bzw. ver-
zweigten Verbin-
dungen, z.T. auch
netzig.

Basidien
(in L4-K)
(Vergr.: 500-fach)

Laenge(um):
32 bis 37
Breite(um):
9.1 bis 10.6

Cheilozystiden
(in L4-K)
(Vergr.: 500-fach)

Laenge(um):
33 bis 46
Breite(um):
7.3 bis 10.6

oft mit schnabel-
foermigem Fortsatz

Dermatozystiden
(in L4-K)
(Vergr.: 788-fach)

Abmessung(um):
von 2.6 bis 5.3

Endglieder

Laenge(um):
15 bis 25.2
Breite(um):
2.6 bis 4.5

meist zylindr.-stu-
mpf, teils zum Ende
verjuengt, auch geg-
abelt, mehrfach sep-
tiert.

Haare
(in L4-K)
(Vergr.: 788-fach)

Abmessung(um):
von 1 bis 2.5

lang, zum Ende allm-
aehlig bis ca. 1um ve-
rjuengt.

Hut:
2.5 bzw. 2.7cm x 3-
4mm, HM niedergedru-
ckt, HR abgebogen,
auf ca. 1/3r schw.-
hoeckerig gerieft,
Rand auf ca. 7mm bl-
utrot bis fleischr-
ot, HM ockerblass, O-
berfl. fein uneben,
HH 1/2r abziehbar
Stiel:

2.5 x 0.6-0.8cm, ob-
er verjuengt, schwa-
mmig, etw. bereift (L-
upe)

Lamellen:
ca. 2mm, +/- eng, sel-
ten gegabelt o. unt-
ermischt, blassgelb
Fleisch:
mild, geruchlos, Gua-
jak: +, FeSO4: +

Diagnose:
R. puellula
Habitat:
bei Fagus und Quer-
cus ueber Quarzit,
Sandstein, Tonschie-
fer

Fundort:
MTB 4429, nahe Prio-
rteich/Walkenried
Datum/leg.:
25.9.85/G. Krueger



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der DGfM.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Heftreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigegebiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [53_1987](#)

Autor(en)/Author(s): Krüger H.

Artikel/Article: [Die normierte Sporenmessung - Diskussion von Voraussetzungen und Vorstellung eines Lösungsansatzes 99-118](#)